



Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine

102-4 | 2014
Varia 2014

La gestion paradoxale des ripisylves des cours d'eau de piedmont alpin endigués

Gestion sécuritaire ou promotion de la biodiversité

André Evette, Caroline Zanetti, Paul Cavaillé, Fanny Dommanget, Patrice Mériaux et Michel Vennetier



Édition électronique

URL : <http://journals.openedition.org/rga/2212>

DOI : 10.4000/rga.2212

ISSN : 1760-7426

Éditeur

Association pour la diffusion de la recherche alpine

Référence électronique

André Evette, Caroline Zanetti, Paul Cavaillé, Fanny Dommanget, Patrice Mériaux et Michel Vennetier, « La gestion paradoxale des ripisylves des cours d'eau de piedmont alpin endigués », *Journal of Alpine Research | Revue de géographie alpine* [En ligne], 102-4 | 2014, mis en ligne le 31 juillet 2014, consulté le 19 avril 2019. URL : <http://journals.openedition.org/rga/2212> ; DOI : 10.4000/rga.2212

Ce document a été généré automatiquement le 19 avril 2019.



La Revue de Géographie Alpine est mise à disposition selon les termes de la licence Creative Commons Attribution - Pas d'Utilisation Commerciale - Pas de Modification 4.0 International.

La gestion paradoxale des ripisylves des cours d'eau de piedmont alpin endigués

Gestion sécuritaire ou promotion de la biodiversité

André Evette, Caroline Zanetti, Paul Cavaillé, Fanny Dommanget, Patrice Mériaux et Michel Vennetier

NOTE DE L'AUTEUR

Remerciements

Les expérimentations et le travail qui ont permis de conduire à la rédaction de cet article ont bénéficié de l'appui des programmes de recherche Interreg IVA France-Suisse Géni'Alp et national ERINOH (ANR), de l'Agence de l'Eau Rhône-Méditerranée et Corse, de la Direction de l'Eau et de la Biodiversité du Ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie, de nombreux gestionnaires de digues (Chambéry Métropole, AD Isère Drac-Romanche-Isère, CNR, EDF) et d'Irstea. Les auteurs remercient également Pierre-André Frossard et les relecteurs anonymes pour leurs commentaires sur la première version de l'article.

Introduction : Les berges des cours d'eau de piedmont alpins souvent endiguées et jouant un rôle écologique majeur

Endiguements

- 1 Depuis le Moyen Âge, les rivières de piedmont alpin ont généré de nombreuses crues provoquant des inondations et l'engravement des terres cultivées ou leur transformation

en marais, et parfois la destruction de zones habitées. Des travaux continus d'endiguements ont débuté dès la fin du XVII^e siècle et se sont développés et intensifiés jusqu'au XX^e siècle (Bravard, 1989).

- 2 Dans les Alpes françaises, sur une longueur de plus de mille kilomètres de rivières en tresses, 53% ont perdu ce caractère géomorphologique en 200 ans (Piégay *et al.*, 2009). Si la disparition des tresses a plusieurs explications, les endiguements et rectifications réalisés afin de protéger des zones urbaines et agricoles jouent un rôle majeur. Ainsi la même étude montre que sur les cours d'eau en tresses disparus en un siècle, 21% ont été endigués, 48% ont été canalisés et 5% se sont retrouvés inclus dans des plans d'eau de barrage. En 1996, seuls 18% des cours d'eau des Alpes françaises pouvaient être considérés comme des hydrosystèmes sauvages (Pautou *et al.*, 1996). Ces modifications de la morphologie fluviale ont eu des conséquences importantes sur la végétation associée aux cours d'eau. L'extension de la petite massette (*Typha minima* Hoppe) s'est ainsi réduite de 85% en un siècle (Prunier *et al.*, 2010), et sur la rivière Isère en Savoie, les espèces des cours d'eau alpins en tresses ont vu la superficie de leurs habitats réduite de 90% avec les travaux d'endiguement (Girel, 2010).
- 3 Les digues des cours d'eau alpins sont souvent constituées de matériaux alluvionnaires extraits de la rivière et surplombent généralement les berges. Elles peuvent avoir été protégées des effets érosifs du cours d'eau par des carapaces ou des perrés, soit sous forme de maçonneries de pierre ou de béton (plus ou moins anciennes), soit sous forme d'enrochements. Les enrochements peuvent n'être présents qu'en pied de berges, mais peuvent également recouvrir l'ensemble de la berge et du parement côté rivière de la digue. Ces ouvrages sont fréquemment colonisés par une végétation ligneuse, qui s'installe dans les interstices entre les blocs. Cette végétation s'est développée avec le temps, en particulier après la Seconde Guerre mondiale, à la suite de l'abandon ou du relâchement des entretiens.

Rôle écologique des ripisylves

- 4 Les cours d'eau et leurs milieux annexes sont des milieux naturellement riches en biodiversité. De nombreuses espèces animales et végétales s'y reproduisent, s'y alimentent et s'y réfugient. Ils englobent des zones d'interface (ou écotones) entre les milieux terrestres et aquatiques et présentent ainsi une très grande richesse floristique et faunistique. Si les lacs et rivières n'occupent que 1 à 2% de la surface des terres émergées, on considère qu'au moins un tiers des vertébrés (poissons, batraciens, reptiles, oiseaux et mammifères) dépendent étroitement de ces milieux pour accomplir leur cycle biologique (Lévêque, 1998). Les formations végétales riveraines permettent également l'accueil de nombreux animaux terrestres (mammifères, oiseaux, amphibiens, arthropodes, etc.), soit durant tout leur cycle de vie, soit seulement pendant une période particulière de ce cycle, comme la reproduction ou l'alimentation.
- 5 Outre les espèces inféodées aux milieux rivulaires, les ripisylves accueillent également les espèces qui y transitent. Elles jouent ainsi un rôle majeur de corridors biologiques, utilisés comme couloir de migration par de nombreuses espèces animales et végétales. Ces corridors remplissent des fonctions écologiques essentielles : en canalisant les propagules de beaucoup d'espèces des milieux adjacents et en créant une continuité entre des milieux souvent fragmentés, ils augmentent la diversité génétique des populations et facilitent leur mélange. Ce rôle est d'autant plus important en piedmont alpin où les

ripisylves constituent parfois les derniers corridors écologiques disponibles dans des vallées où la pression foncière est forte et où les autres corridors ont été détruits par l'urbanisation et les infrastructures. À l'échelle alpine, l'importance du maintien des réseaux écologiques est reconnue comme un enjeu majeur en terme de préservation de la biodiversité (Kohler *et al.*, 2009).

Le présent article a un triple objectif :

- 6 1.Expliciter le paradoxe qui émerge lorsque l'on gère des berges de cours d'eau endigué et que l'on cherche simultanément à promouvoir la sécurité des digues et les fonctions écologiques des ripisylves.
- 7 2.Illustrer ce questionnement grâce aux expérimentations notamment menées en piedmont Alpin dans le cadre du projet Génî'Alp en montrant :
 - les risques induits par les systèmes racinaires des ligneux dans les digues ;
 - l'importance de la végétalisation des berges pour la biodiversité ;
- 8 3.Faire des propositions concrètes d'aménagement qui prennent en compte ces contraintes.

Le paradoxe de la gestion des berges intégrées dans des digues de protection¹

- 9 Les berges des cours d'eau alpins, lorsqu'ils sont endigués pour la protection contre les crues, sont parfois très proches, voire au contact de la digue. La végétalisation des protections de berges présente de nombreux avantages sur les plans écologiques (Cavaillé *et al.*, 2013), mécaniques (Abernethy and Rutherford, 2001) et paysagers. Il est ainsi généralement préconisé de végétaliser les ouvrages de protection de berges de cours d'eau, avec des ligneux notamment.
- 10 Toutefois, lorsque les berges de cours d'eau constituent ou supportent des digues en remblai, l'utilisation de ligneux peut poser problème. En effet, si, sur la digue *sensu stricto*, la végétation herbacée est bénéfique dans la mesure où elle protège efficacement et de façon pérenne les talus de l'érosion de surface (ruissellement, ravinement), la présence d'arbres ou d'arbustes induit des risques de dégradation pour l'ouvrage (Mériaux and Vennetier, 2006 ; Vennetier *et al.*, 2003 ; Zanetti, 2010). Ces risques sont liés (i) à la présence de la partie aérienne des arbres poussant sur le talus ou en pied de digue, qui les rend susceptibles d'être renversés par le vent ou les courants, et (ii) aux systèmes racinaires pouvant créer des dommages au remblai de la digue ou à sa fondation, par le décompactage des sols, la déstructuration des parties d'ouvrages maçonnés et/ou par la création de galeries formées par les racines en décomposition et favorisant l'érosion interne (Zanetti *et al.*, 2010). Ces risques remettent en cause la sécurité des ouvrages hydrauliques et donc la sécurité des biens et des personnes situés à l'abri des digues. Il peut donc y avoir une contradiction entre la volonté de végétaliser les berges de cours d'eau par des espèces ligneuses et celle d'éviter le développement d'arbres et d'arbustes sur les digues lorsque la berge a été intégrée dans une digue. Une étude détaillée au cas par cas est alors nécessaire.

- 11 Afin de chercher à lever ce paradoxe sur les cours d'eau de piedmont alpin entre promotion de la sécurité et de la biodiversité sur les berges endiguées, le projet Génialp a permis d'engager simultanément :
- des études sur le développement racinaire des ligneux dans les digues de rivière alpine pour mieux connaître les risques engendrés ;
 - des études sur la biodiversité des différents types de berges pour connaître l'impact des différents types d'aménagement sur la biodiversité.

Peut-on à la fois assurer la sécurité des digues et promouvoir la biodiversité lorsque les berges servent de digues ?

Ce que l'on sait de la végétation en lien avec la gestion sécuritaire des digues

- 12 Le développement de la végétation arborée sur les digues et berges de cours d'eau, et particulièrement l'enracinement des arbres et arbustes, ont fait l'objet en France d'une étude détaillée (Zanetti, 2010). Près de 300 arbres adultes ont été déracinés avec précaution pour caractériser la structure globale de leurs systèmes racinaires (forme, dimension et direction des racines, spécificités morphologiques) ainsi que les volumes d'encombrement des souches (ensemble « système racinaire et matériaux (sol) »).
- 13 Dans le prolongement de cette étude, dont deux sites expérimentaux avaient déjà concerné des digues construites sur cours d'eau alpin (digues de l'Isère en amont de Grenoble et digue de fermeture du barrage de Castérino dans les Alpes Maritimes), une expérimentation spécifique a été réalisée en 2011 dans le cadre du projet Génialp sur les digues de La Leysse en Savoie, avec le soutien de Chambéry Métropole.
- 14 Afin de caractériser les enracinements des essences ligneuses présentes sur les berges et digues en région alpine, des opérations de dessouchage ont eu lieu. Les saules ainsi que les aulnes présentent des systèmes traçants à faible encombrement (1 à 2,5 m³) lorsqu'ils sont situés en berge, tandis qu'ils présentent des systèmes mixtes ou fasciculés avec un volume d'encombrement plus important (4 à 8 m³) lorsqu'ils sont situés sur la digue. Ces observations ont permis d'affiner les recommandations lors de la mise en œuvre des techniques de génie végétal sur une berge, à proximité d'une digue.
- 15 Ces expérimentations en rivières alpines ont permis de confirmer les résultats obtenus dans le cadre de l'étude d'envergure précédemment citée, qui a montré que les végétaux ligneux se développant sur les digues de milieu tempéré peuvent présenter quatre types d'enracinement : traçant, fasciculé, pivotant et mixte (Köstler *et al.*, 1968). Chaque type induit des risques différents pour les digues à moyen et long termes (Zanetti *et al.*, 2010 ; Zanetti, 2010 ; Zanetti *et al.*, 2013).
- 16 Un système traçant, dans lequel toutes les racines sont superficielles, est peu résistant aux contraintes d'arrachement, mais assure en contrepartie une fixation de la partie superficielle du sol face au ruissellement ou au courant. Ce type de structure est dangereux si les racines traversent une partie de l'ouvrage, ou lors du déracinement par le vent.

- 17 Un système fasciculé présente une bonne résistance à l'arrachement du fait de la répartition dense et homogène des racines dans toutes les directions, mais il a un volume d'encombrement élevé, nuisible pour la structure en cas de pourrissement ou d'arrachage.
- 18 Un système pivotant présente surtout une ou plusieurs grosses racines verticales (pivots). Il assure un bon ancrage de l'arbre, mais il pénètre profondément le corps du remblai en le déstructurant, et génère un risque d'effondrement après la mort de l'arbre et le pourrissement de ses gros pivots.
- 19 Un système racinaire à structure mixte, composé de racines horizontales et verticales, rassemble les avantages et inconvénients précédemment énoncés pour les systèmes traçants et pivotants.
- 20 Les paramètres influençant la structure des systèmes racinaires sont :
 - les propriétés des matériaux de la digue ou de la berge,
 - la position de l'arbre sur le talus qui conditionne l'accès à l'eau,
 - l'espèce végétale,
 - l'âge de la souche.

Structure racinaire et matériaux

- 21 La nature et la richesse des matériaux jouent un rôle clef dans l'organisation des systèmes racinaires. Dans les matériaux grossiers (sable, graviers et cailloux) drainants et souvent pauvres, les racines sont peu nombreuses et assez grosses. Elles peuvent être très longues, car elles sont obligées de prospecter de gros volume de matériau pour subvenir aux besoins de l'arbre. À l'inverse, dans les matériaux fins avec une proportion élevée de limon ou argile, plus riches et retenant mieux l'humidité, les racines sont plus nombreuses, plus fines et généralement plus courtes, car elles trouvent des ressources suffisantes dans un faible volume.

Structure racinaire et position de l'arbre sur la digue ou la berge

- 22 La structure des systèmes racinaire dépend aussi fortement de l'accès à l'eau. Les arbres positionnés en pied de berge ou de digue ont des systèmes traçants lorsqu'une nappe phréatique se trouve à faible profondeur. On observe alors une galette racinaire plane qui épouse la surface supérieure de la nappe. En effet, l'essentiel des essences de bord de cours d'eau a d'importants besoins en eau pour se développer, mais elles n'émettent pas de racines sous le niveau moyen des eaux (asphyxie), à l'exception de certaines espèces, des genres *Alnus* (Armstrong et Armstrong, 2005) et très probablement *Platanus* et *Salix*.

Structure racinaire et espèce

- 23 Il est ainsi démontré que la structure racinaire dépend beaucoup plus des conditions de développement (accès à l'eau et nature des matériaux) que de l'espèce végétale. Néanmoins, certaines essences ont des spécificités morphologiques qui les rendent indésirables sur les digues, en particulier la capacité d'émettre quelques racines particulièrement grosses et longues (figure 1), susceptibles de traverser de part en part un ouvrage. C'est notamment le cas des peupliers noir (*Populus nigra* L.) et blanc (*Populus alba* L.), du saule blanc (*Salix alba* L.) et du robinier (*Robinia pseudoacacia* L.). Ces peupliers et les saules arborescents ont également la particularité d'émettre de gros pivots

lorsqu'ils peuvent capter l'eau en profondeur, ce qui génère des risques d'effondrement localisés après pourrissement de la souche. Ces essences (peuplier, robinier et saule) sont hélas très répandues sur les ouvrages. L'introduction de ces espèces doit donc à tout prix être évitée sur les digues neuves ou reconstruites.

Figure 1. Grosse racine traçante, très longue, de saule blanc en pied de berge



Crédit : Caroline Zanetti

Structure racinaire et âge / dimension des souches

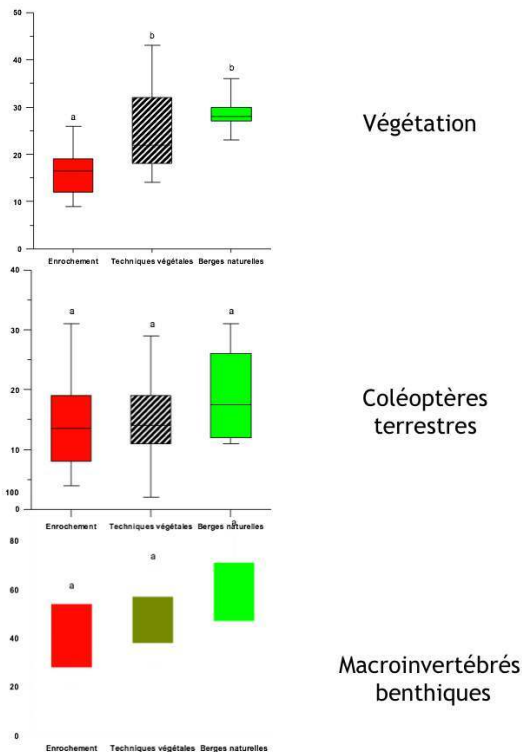
- 24 Toutes espèces et tous types de structures racinaires confondus, la relation entre l'âge des arbres et le volume d'encombrement de leur système racinaire est faible. Les différences de site, de matériau, d'espèce et de type d'arbre (rejets ou franc pied), expliquent ces variations.
- 25 Pour des âges équivalents, et dans des conditions semblables (en milieu ou haut de digue ou de berge), les systèmes racinaires des saules blancs et des peupliers noirs ou blancs ont un volume d'encombrement deux fois supérieur à celui des robiniers ou des frênes.

Évaluation de la biodiversité en fonction du type de berge

- 26 D'une façon générale, les ouvrages de protection de berge sont de deux types : les ouvrages de génie civil constitués de maçonneries en pierre ou en béton, de gabions ou d'enrochements ; et les ouvrages de génie végétal constitués de végétaux vivants et qui utilisent les aptitudes biologiques, physiologiques et physiques de ces plantes, pour protéger les berges contre l'érosion (Frossard, Evette, 2009). On trouve également des ouvrages mixtes qui associent techniques de génie civil et de génie végétal. Les ouvrages de génie végétal s'intègrent mieux aux paysages et à leur environnement écologique que les ouvrages de génie civil. À terme, un ouvrage de génie végétal réussi devient très proche d'une berge « naturelle ».

- 27 Dans le cadre du projet Géni'Alp, une étude écologique quantitative, portant sur la biodiversité de berges aménagées, a été menée en 2010 et 2011 sur plus de 30 ouvrages du piedmont alpin (Rhône-Alpes et Suisse). Cette étude a comparé la biodiversité d'enrochements, de techniques végétales et de saulaies naturelles. Les ouvrages de protection étaient tous d'un âge similaire (3 à 8 ans). Les relevés ont concerné la végétation et les coléoptères terrestres, mais également les macro-invertébrés benthiques présents sur la partie immergée de la berge.

Figure 2. Comparaison des moyennes des diversités en nombre d'espèces végétales, et en nombre de taxons pour les coléoptères terrestres et macro-invertébrés benthiques, sur des ouvrages de génie civil, des techniques végétales et des berges naturelles.



LES BARRES D'ERREUR REPRÉSENTENT LES ERREURS TYPES, ET LES DIFFÉRENCES DE LETTRE (A, B) INDIQUENT DES DIFFÉRENCES STATISTIQUEMENT SIGNIFICATIVES.

- 28 La figure 2 montre que cette trentaine d'aménagements issus des techniques de génie végétal – bien que récents – abrite une diversité significativement supérieure en nombre d'espèces végétales, proches de la diversité des berges naturelles. En revanche, les tests statistiques ne mettent en évidence aucune différence significative pour les coléoptères terrestres ni pour les macro-invertébrés benthiques, même si une tendance à l'augmentation tout au long du gradient de naturalité se dégage. On peut donc penser que la végétalisation des berges permet un meilleur retour de leur fonctionnalité écologique par rapport aux enrochements, que cela soit sur la partie émergée ou la partie immergée.
- 29 L'ensemble de ces résultats tend à confirmer que les matériaux utilisés pour l'aménagement des berges influencent de manière significative la qualité des habitats rivulaires et par conséquent les populations d'organismes qui s'y implantent. Les ouvrages utilisant des techniques de génie végétal favorisent plus les diversités végétale et animale que les ouvrages de génie civil.

Développement des espèces exotiques envahissantes sur les cours d'eau alpins et importance des ligneux pour limiter leur développement

- 30 Les milieux rivulaires sont particulièrement touchés par les invasions biologiques. Introduites intentionnellement ou non, des espèces végétales invasives, principalement originaires d'Asie ou d'Amérique, ont réussi à se propager et à se développer de façon spectaculaire le long des cours d'eau européens. Très dynamiques et majoritairement héliophiles, elles profitent souvent, pour s'installer, des éclaircies ou déboisements pratiqués pour la réalisation des travaux d'aménagement de berges.
- 31 Les massifs alpins ne sont pas épargnés, même si les espèces exotiques envahissantes restent majoritairement cantonnées aux zones perturbées et aux basses altitudes (Dainese *et al.*, 2013). Ainsi les renouées asiatiques (*Fallopia* spp.), l'arbre à papillon (*Buddleia davidii* Franch.) ou l'impatience de l'Himalaya (*Impatiens glandulifera* Royle), entre autres, sont en pleine expansion le long des rivières de piedmont alpin. Leur développement peut affecter sévèrement la flore et la faune locales. Il soulève de forts enjeux de gestion et d'aménagement. En effet, outre leur impact sur la biodiversité locale et le paysage, les espèces exotiques envahissantes pourraient fragiliser les berges vis-à-vis de l'érosion notamment en période hivernale (Dawson, Holland, 1999). Par ailleurs, en présence de digues, l'accès aux berges ou au talus côté rivière est rendu difficile et la surveillance visuelle des digues gênée par le développement de leurs parties aériennes.
- 32 Un des axes majeurs de recherche en écologie des invasions s'intéresse à ce qui rend certains milieux particulièrement sensibles aux invasions. Parmi les mécanismes avancés, la capacité compétitive de la communauté végétale en place semble jouer un rôle majeur (Levine *et al.*, 2004). Plus les espèces présentes seront complémentaires pour l'utilisation spatiale et temporelle des ressources, moins elles permettront aux plantes exotiques envahissantes d'utiliser ces ressources pour exprimer leur performance. À une échelle locale, la présence d'une communauté végétale compétitive et fonctionnellement diversifiée permet de réduire la performance des espèces exotiques envahissantes (Hooper, Dukes, 2010). En termes de gestion, ces constats se traduisent par des actions visant au maintien et à la restauration de communautés végétales structurées, notamment composées d'espèces arborées et arbustives, sur les milieux rivulaires les plus exposés au risque invasif.
- 33 Paradoxalement, par endroits, les gestions les plus sécuritaires à court terme pour les digues éliminant le couvert arboré, peuvent provoquer l'explosion des invasives héliophiles qui étaient maintenues dominées et à l'état dispersé par l'ombrage. Formant des tapis denses et hauts (3-5 m), certaines d'entre elles (*Buddleia*, *Fallopia*) empêchent la surveillance visuelle des talus. Il est donc important d'éviter l'ouverture brutale du milieu dans les zones où elles sont déjà implantées, et de prévoir un plan de gestion adapté là où les coupes ne peuvent être évitées.

Préconisations sur la végétation à employer lorsque les berges sont intégrées dans une digue

Règles s'appliquant aux digues

- 34 Les digues remplissant des fonctions de protection des biens et des personnes contre les inondations, leur bon fonctionnement (leur performance, au sens du génie civil) apparaît donc comme une priorité si les enjeux protégés le justifient. Pour remplir ce rôle sécuritaire, il est nécessaire d'éviter tous risques susceptibles de nuire à leur bonne étanchéité ou stabilité, et notamment ceux liés au développement de gros systèmes racinaires. Par ailleurs, afin de suivre l'état de ces digues dans le temps, il est indispensable de pouvoir les surveiller régulièrement. Un tel contrôle visuel n'est malheureusement pas compatible avec la présence dense de ligneux ou de grandes herbacées, notamment les invasives, qui peuvent cacher d'éventuels désordres. Sans compter que la présence d'un couvert boisé favorise l'installation de gros animaux fouisseurs (blaireau, ragondin, rat musqué, etc.) qui creusent leurs terriers dans les digues ou leur fondation (Mériaux *et al.*, 2004). Sauf cas particulier, un tapis herbacé dense et ras, entretenu par fauchage régulier, est le meilleur couvert végétal recommandé pour assurer simultanément la protection et la sécurité des talus de digue.

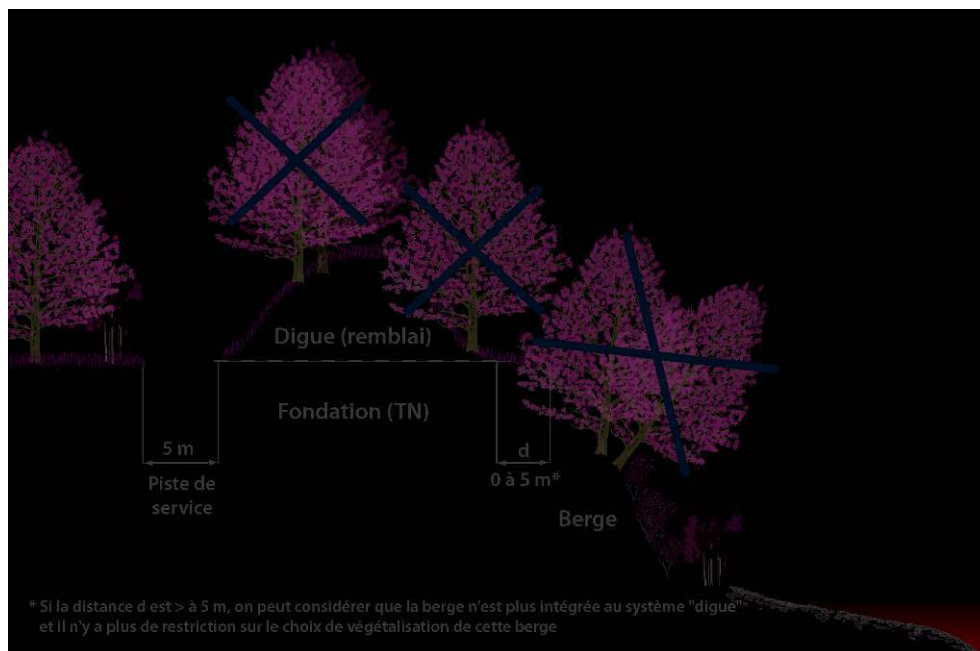
Des mesures à adapter au cas par cas

- 35 Il est cependant difficile d'établir des règles générales pour tous les ouvrages hydrauliques et cours d'eau. En effet, chaque cas est particulier en termes de dimensions, d'histoire et de matériaux constitutifs de la digue, d'enjeux sécuritaire, social, écologique et paysager, ainsi qu'en termes de régime hydrologique, de type, violence et fréquence de crue, de climat local, de position de la digue par rapport à la berge, de marge de sécurité, etc.
- 36 Un diagnostic précis et l'élaboration d'un plan de gestion adapté sont nécessaires pour toute situation ou tout choix qui s'écarte de la règle de base, consistant à éviter toute présence ou installation de ligneux sur les digues et ouvrages hydrauliques en terre et à y maintenir, par un fauchage régulier, une végétation herbacée basse. Cette règle ne peut souffrir d'exception que sur les ouvrages de très grandes largeurs avec des pentes de talus douces, ou lorsqu'ils sont équipés d'écrans internes étanches, à base de matériau dur (paroi moulée, palplanches). Même dans ces cas favorables, des prescriptions minimales s'imposent, au moins pour permettre la surveillance des ouvrages.
- 37 Lorsque les ouvrages hydrauliques sont déjà boisés, situation fréquente, il convient d'éviter au moins que ces arbres et leur souche n'atteignent de grandes dimensions en hauteur ou diamètre et, en attendant un diagnostic approfondi² et des travaux de confortement, de pratiquer un débroussaillage régulier entre les arbres de façon à rétablir des conditions correctes de surveillance. Il faut cependant noter que sur les ouvrages à profil étroit et talus raides, les arbres restent parfois les seuls éléments assurant temporairement une certaine stabilité à l'ouvrage. Leur suppression implique donc de refaire l'ouvrage dans sa totalité.
- 38 Bien que cela soit parfois difficilement acceptable au niveau social, écologique et paysager, il est à proscrire, sauf exception mentionnée ci-dessus (très grande largeur ou

écran d'étanchéité interne), d'implanter des arbres sur les ouvrages hydrauliques en terre neufs ou remis en état.

- 39 Toutefois, au-delà d'une distance de l'ordre de 5 mètres des pieds de digue (limitant la colonisation par les racines), toute latitude est donnée aux aménageurs pour installer des arbres ou arbustes dans le cadre d'un plan d'intégration paysagère et/ou de compensation des impacts résultant de la gestion de la digue en tant qu'espace uniquement herbacé (figure 3). Cette bande de 5 mètres de part et d'autre des pieds de digue peut, en outre, être avantageusement aménagée pour permettre la circulation périodique des engins d'entretien et de fauchage (piste de service).

Figure 3. Schéma récapitulatif des modalités de gestion des ligneux sur les digues



- 40 Enfin, dans les projets de réaménagement de digue, une solution intéressante permettant de « réconcilier » défense de berges par technique végétale (sans plus aucune restriction) et sécurité de la digue remise à niveau est de déplacer la digue, c'est-à-dire de l'éloigner du cours d'eau, sur les tronçons où cela s'avère possible. De telles solutions de travaux commencent à se développer en France (Rhône, Vidourle, Doubs, Agly, Isère, etc.) et plusieurs aménagements réalisés ou projetés ont été présentés au récent Colloque Dignes 2013 à Aix-en-Provence. (Salmi *et al.*, 2013). Il va sans dire que le cours d'eau et son écosystème ont eux aussi tout à gagner d'un tel parti d'aménagement, en retrouvant un peu de leur liberté d'antan...

Des règles générales de végétalisation en milieu alpin

- 41 Il est généralement préférable d'utiliser des espèces et écotypes locaux pour la végétalisation. Ces derniers sont en effet bien adaptés à leur milieu. De plus, en zone de montagne, on se situe souvent dans des territoires à forte valeur patrimoniale, avec une végétation diversifiée qui présente des espèces ou des écotypes spécifiques. L'utilisation de souches locales apparaît donc primordiale, à la fois dans l'objectif d'utiliser un

matériel végétal adapté aux conditions de milieu, que pour respecter le caractère patrimonial de ces milieux à forte typicité (Bonin *et al.*, 2013).

- 42 La survie des espèces utilisées pour la revégétalisation est garante de la bonne tenue des ouvrages de génie végétal. Cette survie des espèces est largement conditionnée par leur adaptation aux conditions de milieux rencontrées. Qu'il s'agisse des affinités écologiques (tolérance aux inondations, lumière, nutriments, humidité, pH...) ou biogéographiques (altitude, continentalité...), le choix des espèces doit être adapté (Evette *et al.*, 2012).
- 43 Enfin, la végétalisation des berges de cours d'eau en milieu alpin demande aussi à prendre en compte un certain nombre de spécificités et notamment le régime hydrologique ou la durée de végétation (Bonin *et al.*, 2013).

BIBLIOGRAPHIE

ABERNETHY B., RUTHERFURD I.D., 2001.- « The distribution and strength of riparian tree roots in relation to riverbank reinforcement », *Hydrological Processes*, Vol. 15, n°1, pp. 63-79.

ARMSTRONG W., ARMSTRONG J., 2005.- « Stem photosynthesis not pressurized ventilation is responsible for light-enhanced oxygen supply to submerged roots of alder (*Alnus glutinosa*) », *Annals of Botany*, Vol. 96, pp. 591-612.

BONIN L., EVETTE A., FROSSARD P.A., PRUNIER P., ROMAN D. et VALÉ N., 2013.- *Génie végétal en rivière de montagne, Connaissances et retours d'expériences sur l'utilisation d'espèces et de techniques végétales : végétalisation de berges et ouvrage bois.*

BRAVARD J.P., 1989.- « La métamorphose des rivières des Alpes françaises à la fin du moen-age et à l'époque moderne », *Bulletin de la Société Géographique de Liège*, Vol. 25, pp. 145-157.

CAVAILLÉ P., DOMMANGET F., DAUMERGUE N., LOUCOUGARAY G., SPIEGELBERGER T., TABACCHI E. et EVETTE A., 2013.- « Biodiversity assessment following a naturalness gradient of riverbank protection structures in French prealps rivers », *Ecological Engineering*, Vol. 53, n° 0, pp. 23-30.

DAINESE M., KÜHN I. et BRAGAZZA L., 2013. - « Alien plant species distribution in the European Alps : influence of species' climatic requirements », *Biological Invasions*, pp. 1-17.

DAWSON F.H., HOLLAND D., 1999.- « The distribution in bankside habitats of three alien invasive plants in the U.K. in relation to the development of control strategies », *Hydrobiologia*, Vol. 415, pp. 193-201.

EVETTE A., BALIQUE C., LAVAINÉ C., REY F. et PRUNIER P., 2012.- « Using ecological and biogeographical features to produce a typology of the plant species used in bioengineering for riverbank protection in Europe », *River Research and Applications*, Vol. 28, n°10, pp. 1830-1842.

FROSSARD P.A., EVETTE A., 2009.- « Le génie végétal pour la lutte contre l'érosion en rivière : une tradition millénaire en constante évolution », *Ingénieries - Eau Agriculture Territoires*, Vol. Numéro Spécial : Ecologie de la restauration et ingénierie écologique, pp. 99-109.

GIREL J., 2010.- « Histoire de l'endiguement de l'Isère en Savoie : conséquences sur l'organisation du paysage et la biodiversité actuelle », *Géocarrefour*, Vol. 85, n°1.

- HOOPER D.U., DUKES J.S., 2010.- « Functional composition controls invasion success in a California serpentine grassland », *Journal of Ecology*, Vol. 98, n°4, pp. 764-777.
- KOHLER Y., SCHEURER T. et ULLRICH A., 2009.- « Ecological networks in the Alpine Arc : Innovative approaches for safeguarding biodiversity », *Réseaux écologiques dans l'Arc alpin : Des démarches innovantes pour la sauvegarde de la biodiversité. Revue de Géographie Alpine*, Vol. 97, n°1, pp. 49-59.
- KÖSTLER J.N., BRUECKNER E. et BIBELRIETHER H., 1968.- *Die Wurzeln der Waldbäume. Untersuchung zur Morphologie der Waldbäume in Mitteleuropa*, Paul Parey.
- LÉVÊQUE C., 1998.- « Biodiversity and management of inland aquatic ecosystems », *Revue des Sciences de l'Eau*, Vol. 11, SPEC. ISS., pp. 211-221.
- LEVINE J.M., ADLER P.B. et YELENIK S.G., 2004.- « A meta-analysis of biotic resistance to exotic plant invasions », *Ecology Letters*, Vol. 7, n°10, pp. 975-989.
- MÉRIAUX P., AURIAU L., MAURIN J., BOULAY A., LACOMBE S. et MARMU S., 2013.- « La télédétection LiDAR hélicoptérée haute résolution, un outil efficace pour étudier la topographie et contribuer au diagnostic des digues de protection », *Colloque technique MEDDE-CFBR-Irstea, « Digues maritimes et fluviales de protection contre les submersions »*, pp. 335-344.
- MÉRIAUX P., ROYET P. et C. F., 2004.- *Surveillance, entretien et diagnostic des digues de protection contre les inondations*, Guide technique, Cemagref Editions.
- MÉRIAUX P. et VENNETIER M., 2006.- « Diagnosis and management of vegetation growth on embankments dams and dikes », *22nd Conference on Large Dams International Commission on Large Dams*, pp. 551-567.
- PAUTOU G., GIREL J., PEIRY J.L., HUGHES F., RICHARDS K., FOUSSADIER R., GARGUET-DUPOUR B., HARRIS T. et BARSOUM N., 1996.- « Les changements de végétation dans les hydrosystèmes fluviaux. L'exemple du haut-Rhône et de l'Isère dans le Grésivaudan ». *REVUE D'ÉCOLOGIE ALPINE*, Vol. 3, pp. 41-66.
- PIÉGAY H., ALBER A., SLATER L. et BOURDIN L., 2009.- « Census and typology of braided rivers in the French Alps », *Aquatic Sciences*, Vol. 71, n°3, pp. 371-388.
- PRUNIER P., GARRAUD L., KOHLER C., LAMBELET-HAUETER C., SELVAGGI A. et WERNER P., 2010.- « Distribution and decline of Dwarf Bulrush (*Typha minima*) in the Alps », *Botanica Helvetica*, Vol. 120, n°1, pp. 43-52.
- SALMI A., LAPIERRE R., ROUGE M. et VUILLERMET E., 2013.- « Reconstruction des digues fluviales en retrait », *Colloque technique MEDDE-CFBR-Irstea « Digues maritimes et fluviales de protection contre les submersions »*, p. 687-693.
- VENNETIER M., CHANDIOUX O., RIPERT C. et MÉRIAUX P., 2003.- « Bases de gestion de la végétation des digues et berges sous contraintes de sécurité », *Forêt Méditerranéenne*, Vol. XXIV, pp. 263-274.
- VENNETIER M., MÉRIAUX P., BUSSET F., FELIX H. et LACOMBE S., 2010.- « Apport de la télédétection LIDAR aéroporté haute définition pour la caractérisation de la végétation des digues », *Revue Française de Photogrammétrie et de Télédétection*, Vol. 191, pp. 36-41.
- ZANETTI C., 2010.- *Caractéristique du développement des systèmes racinaires ligneux dans les digues*, Université de Provence (Aix-Marseille 1).
- ZANETTI C., GUIBAL F., BRUGIER M., VENNETIER M., P. M. et PROVANSAL M., 2010.- « Relation entre l'âge et le diamètre de racines prélevées sur des digues de protection contre les inondations », *Collection EDYTEM*, Vol. 11, pp. 115-122.

ZANETTI C., VENNETIER M. et MÉRIAUX P., 2013.– « Développement et décomposition des systèmes racinaires : risques induits et solution de gestion », *Digue 2013 - Deuxième colloque national, Dignes maritimes et fluviales de protection contre les submersions*, pp. 536-540.

NOTES

1. Dans le présent article, à l'instar de la définition adoptée dans le guide Génî'Alp, on dira que la berge est intégrée dans le système d'endiguement dès lors que le sommet de berge est confondu avec le pied côté rivière ou torrent de ladite digue, ou est situé à moins de 5 mètres de celui-ci (cf. figure 3).

2. Un levé aérien LiDAR très haute résolution peut s'avérer très utile pour contribuer à un tel diagnostic, et notamment pour faciliter la cartographie et la caractérisation de la végétation ligneuse en place : (Vennetier *et al.*, 2010, Mériaux *et al.*, 2013).

RÉSUMÉS

Les rivières de piedmont alpin ont fait l'objet de nombreux travaux d'endiguement et de chenalisation au cours des siècles qui nous précèdent. La gestion actuelle de ces digues conduit souvent à en exclure les ligneux pour des raisons de sécurité. Pourtant la végétation alluviale et les ripisylves jouent un rôle écologique majeur. Ce sont des milieux très riches en biodiversité qui jouent un important rôle de corridor biologique.

Il existe donc un paradoxe dans la gestion des digues entre la nécessité sécuritaire d'exclure les ligneux et celle, écologique, de laisser les ouvrages se végétaliser. Des expérimentations menées dans le cadre du Projet Interreg Génî'Alp en piedmont alpin ont permis d'affiner les connaissances à la fois sur les risques induits par les systèmes racinaires des ligneux dans les digues et sur l'impact de l'artificialisation des bords de cours d'eau sur la biodiversité.

Cet article a pour objectif d'illustrer ce paradoxe à la lueur des résultats de ces expérimentations. Il présente ainsi les analyses de la taille et de l'extension spatiale des systèmes racinaires d'arbres et arbustes extraits des berges et des digues de deux cours d'eau alpins. Parallèlement il compare les résultats des diversités taxonomiques de la végétation et des coléoptères terrestres, ainsi que la diversité de la macro-faune benthique entre trois types de berges : enrochées, aménagées avec des techniques de génie végétal et 'naturelles'. À partir de ces éléments, cet article explore les compromis de gestion auxquels doivent faire face les aménageurs de cours d'eau et suggère des propositions d'aménagement pour répondre à ce double enjeu.

INDEX

Mots-clés : biodiversité, digues, espèces exotiques envahissantes, génie végétal, ripisylves, risque, rivières alpines

AUTEURS

ANDRÉ EVETTE

UR EMGR, Irstea Grenoble

CAROLINE ZANETTI

UR OHAX, Irstea Aix-en-Provence et ARBEAUSOLutions, Meyreuil

PAUL CAVAILLÉ

UR EMGR, Irstea Grenoble

FANNY DOMMANGET

UR EMGR, Irstea Grenoble

PATRICE MÉRIAUX

UR OHAX, Irstea Aix-en-Provence

MICHEL VENNETIER

UR EMAX, Irstea Aix-en-Provence